

## 光学系统设计技巧 (续)

郑保康

(云南北方光电仪器有限公司 昆明 650114)

(续 2008 年 No. 2)

### § 5.3.9 照明系统和聚光镜

显微标本绝大多数都是本身不发光的物体,因此需要外界照明使之成像,在近代显微镜上照明系统可按标本的不同性质概略分为三类: a. 透明标本用透射光; b. 不透明标本用反射光; c. 微粒观察用透射的暗场照明。前两者的视象背景是明亮的而象是暗黑的; 后者的背景是暗黑的而象却是明亮的。若照明方式不符合上述要求,则就无法成象。

#### 1. 透射光的照明系统

通过显微镜用透射光观察的物体,特别是生物学上用的标本切片,是非常薄的一层固体或液体,它们放在载玻片上,上面盖以 0.17 ~ 0.18 毫米厚的盖玻片。观察物是固体,需将它切成或磨成薄片,若是很小的物体,则滴上一滴溶液将其包围在溶液内。若是易溶解的透明体,则直接将其夹在两玻片之间。标本总是要比较透明,有些标本需要染色。

照明系统的作用,就是使被观察物体得到充分照明。对于透明体的情况,由照明系统会聚于标本切片的光线有规则地通过标本,进入物镜成象。因此,光线会聚的孔径角应与物镜的数值孔径相配合。

在小数值孔径的低倍显微镜里可以采

用最简单的照明器:它就是一块平面镜或凹面镜,直接由自然光作为光源,如图 5-44,通常凹面镜和平面镜同时装在镜框的两边而组成。

对于大数值孔径的物镜,为了使光束充满物镜的整个孔径,必须采用专门的照明光学系统,它把光源的象成在标本面上。如图 5-45 所示,照明光学系统  $K_1K_2$  将光源  $L$  以缩小的象成在标本  $A$  上,因此角放大率大于 1。适当选择照明系统的焦距和孔径角,能在  $A$  点得到截角与物镜孔径相适应的锥形光束。我们知道:若忽略光的损失,光源象的亮度与光源相同,因此,利用照明系统相当于在标本  $A$  上放置光源。1872 年阿贝研究出以他名字命名的照明系统,见图 5-45,直到今天还在采用。

在显微镜中,照明系统位于载物台的下面,具有相应的机构可使其作上下移动。照明系统有可变光栏,位于照明系统(或聚光镜)的前焦面或其附近,是聚光镜的入射光瞳,其出射光瞳位于无穷远。显微镜物镜的入射光瞳也在无穷远,因为物镜的孔径光栏位于物镜的后焦面或其附近。因此聚光镜的出射光瞳与物镜的入射光瞳重合,改变光栏大小就可以改变射入物镜的光束的孔径角。通常是这样来改变

可变光栏以达到光束的孔径角与物镜的数值孔径相适应的。

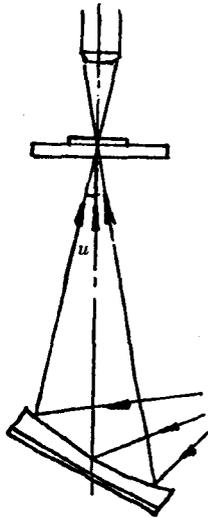


图 5 - 44

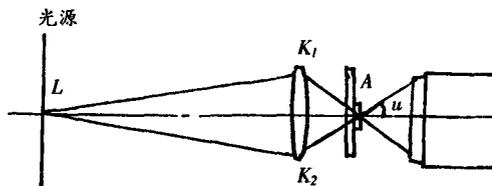


图 5 - 45

由图 5 - 45 所示的光源面被聚光镜成象于物体表面而获得照明的方法称为临界照明。如果光源表面亮度不均匀，或明显地表现出细小的结构，如灯丝等。那么临界照明使得显微镜象面亮度不均匀。为了消除临界照明这一缺点，柯拉 (Kohler) 在显微镜的实用中采用下面的方法：由光源发出的光线不是直接射入照明系统，而是先经过透镜  $K$ ，透镜前面有一可变光栏  $J_1$ 。透镜  $K$  给出光源的象 (为了使光源亮度均匀，最好在光源前面放一毛玻璃，此时透镜  $K$  给出了被光照

亮的毛玻璃象) 于阿贝聚光镜  $M$  底下的光栏  $J_2$  处。如图 5 - 46，聚光镜  $M$  给出可变光栏  $J_1$  的象在物体平面上，和给出可变光栏  $J_2$  的象在物镜的入射光瞳处，即在无穷远，这种照明方法称为柯拉照明，它也是比较完善的照明方法。因为不仅使得视场照明均匀，而且适当选择光栏  $J_1$  的孔径，可使照明视场的光束受到理想的限制，能使不在视场内的标本没有被任何光所照射，以减少有害的散射光。

比较复杂的照明系统，可变光栏  $J_2$  可以作垂轴方向的移动，使它的中心不与聚光镜的光轴重合，其目的是为了得到斜照明，以提高显微镜的分辨本领。

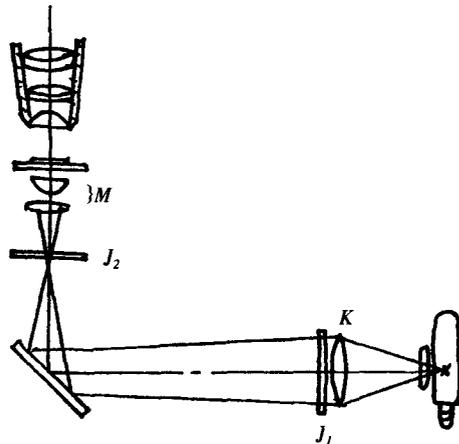


图 5 - 46

如果光源面积较大，由聚光镜将它成在标本面上的象比视场大几倍，那么可以用非消色差的聚光镜，因为在象边缘的颜

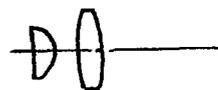


图 5 - 47

色不在视场内，不会妨碍观察。这种不需对色差进行校正的聚光镜由两块透镜构成，

如图 5-47 所示。它的数值孔径在用油浸时为 1.2, 焦距为 10 毫米。为了用大孔径的油浸物镜观察, 需采用由三片透镜组成的非消色差聚光镜, 如图 5-48 所示, 其数值孔径为 1.4, 焦距为 8 毫米左右。

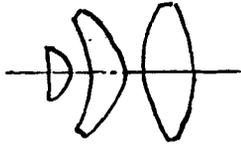


图 5-48

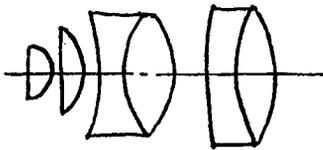


图 5-49

如果光源面积有限, 或者如图 5-46 中那样要对光栏很好成象, 就需要消色差和球差的聚光镜, 图 5-49 所示的为消色差聚光镜, 数值孔径为 1.4 ~ 1.3, 焦距 9.5 毫米左右。

有一个面是非球面的单块透镜作为大孔径的聚光镜, 也能达到一定的质量要求, 当然, 在此场合, 非球面的加工并不要求很精确。

## 2. 用于非透明体的照明系

对于非透明体, 如金属磨片, 光必须从上面照射, 不能用盖玻片, 因为大量反射光从玻片第一面反射, 引起观察的困难。

当物镜的放大倍数不大时, 有一定的工作距离, 可以从上面或旁边照射被观察的表面。在此情况下, 那些作规则反射的光不进入显微镜的物镜, 进入物镜的只是散射光(漫反射光)。由于物体表面的照明, 相对于反射光线直射入物镜时为暗,

我们称这种观察方法为单向照明暗场观察, 又由于照明是单向侧面的, 所以被观察到的物体有些变形。

为了避免单向暗场观察可能的变形, 我们采用全向照明, 将物镜放在环形光束中间就可得到, 其具体装置如图 5-50 所示, 1 为小灯泡, 2 为由二个透镜组成的聚光镜, 3 为有环形孔径的光栏, 使通过此光栏后的光束成为环形光束, 4 为平板玻璃, 其上镀以环形反射层 55, 中心部分则透明。从环上反射的光线射入平面镜 9-9; 平面镜 9-9 对称于物镜的光轴, 光线被反射后, 从各向照射物体 7; 8 是显微镜物镜。5-6 是光栏。由照明器投射在物体表面的光线, 其被表面规则反射的光线, 不能进入物镜, 只有被物体表面漫射的光线进入物镜, 所以也属于暗场照明。

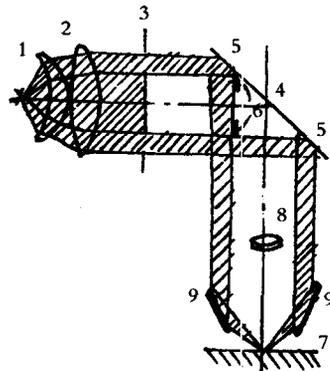


图 5-50

上述照明器也可作为亮场观察非透明体, 为此图 5-50 中的环形光栏 3 在此改用会聚透镜 3。如图 5-51 所示。使平行光成为会聚光束, 此光束受中心镀银部分 4 的反射, 会聚在物镜 8 的出射光瞳处, 此光束不经过平面反射镜 9-9 反射, 而直接照射在观察面 7 上, 变动光栏 6 的

孔径，可改变被照射面上的照度。

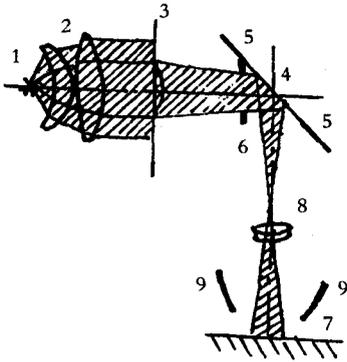


图 5-51

还有一种用得广泛的作为用反射光观察非透明体的照明系统，如图 5-52 所示，受到强烈照射的可变光栏 1 放在透镜的焦平面上，在透镜后面放上同样的光栏 2 和平行玻璃板 3，物镜 4 将平行光会聚在被观察物体表面 5 上，物体表面 5 是物镜的焦平面，投射在物体表面的光线经该表面反射后再进入物镜 4，并通过平行玻璃板 3 和附加透镜 6，将物体平面 5 成象在目镜的焦面上。光栏 2 是整个系统的孔径光栏，光栏 1 为系统的视场光栏，平行玻璃板必须是半镀银的。

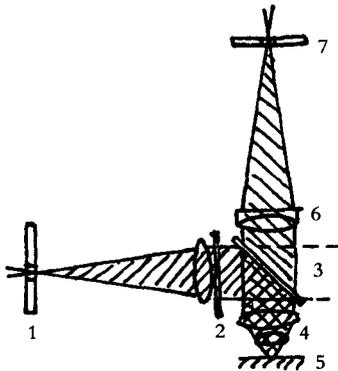


图 5-52

在同类型的照明系统中，有的采用全反射直角棱镜来代替图 5-52 中的平行玻璃板 3，如图 5-53 所示。因此向下反射到物镜的只有一半光束。由于这种照明在某种程度上是单向的，在图面上的成象光束的孔径角比在垂直面的光束的孔径角小一半，因而在图面内的分辨本领要小一半。但这种具有棱镜的照明器与具有平行玻璃板的照明器相比，后者有些散射光，而前者则没有，能给出衬度比较好的象。

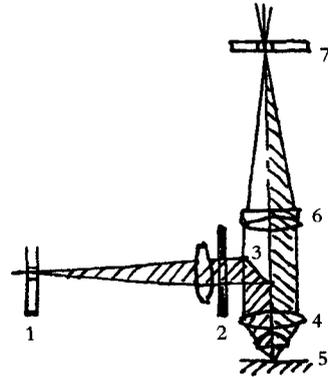


图 5-53

上述两种照明器中的附加透镜，大概只有卡尔、蔡司公司采用，而且大约在 1937 年之后就没有再用这附加透镜了。

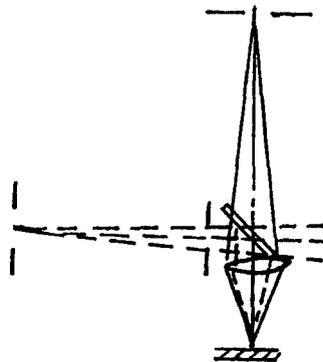


图 5-54

此时,与上述相应的照明系统如图 5 - 54 和图 5 - 55 所示。

这样的四种照明系统具有一个共同的特点,就是用物镜本身作为聚光镜。因此,这种照明系统是比较简单适用的。

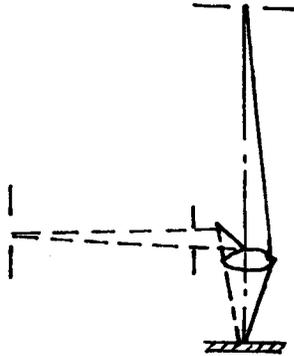


图 5 - 55

### 3. 暗视场观察

在上面叙述过用侧面照明非透明体的方法,那些经规则反射的光线没有进入物镜。只是一些物体表面的散射光,使表面成象在比较暗的背景上。这种侧面照明的方法也可以很好地应用在线形或点形的细微结构的透明体,以及折射率与周围介质相差很少的透明体元。所有这些体元都是进入物镜的光线的散射中心,因而能在暗的背景上给出明亮的点象。体元的厚度不应该超过物镜的被成象深度。

适用于作暗场观察的有:硅藻的壳皮,动物和植物的各种组织,血液和含有细菌的液体等。

在通常的阿贝照明器的三透镜聚光镜下面,安置一个环形光栏,将中央部分光线遮拦掉,即可实现全向侧面照明,以作暗场的透明体观察,如图 5 - 56 所示。孔径为 1.4,在聚光镜的最后一面与载物玻

片之间滴以油,而在盖玻片与物镜之间应该是干的。

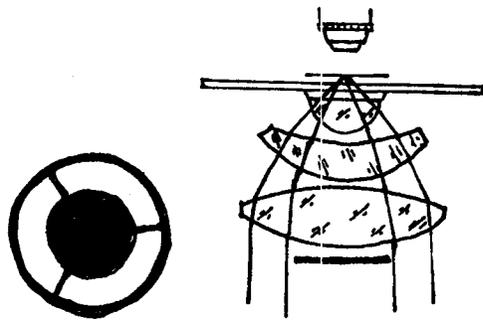


图 5 - 56

暗场照明聚光镜主要有三种,它们必须都用平行光作为入射光,其一是利用普通明视场聚光镜在它的下面加一环形光栏而改装成的,称为一次反射式,但只作低倍物镜用,如图 5 - 56 所示。应用高倍物镜时,必须要用图 5 - 57 和图 5 - 58 所示的二次反射式,前者用于透明标本,后者用于不透明标本。其作用过程如下,以图 5 - 57 为例,它是由 A 和 B 两部分组成的,入射的平行光先受 B 的凸面反射到 B

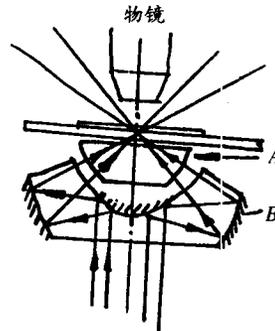


图 5 - 57

的凹面,经 A 而到达标本,在子午面内,二边平面上的光束会聚于同一点上,其中由于全反射而不能逸出 A 的平面进入空

气的光束，则沿着相对的光路射回到 B 下面的环形光栏，进入物镜的仅是标本微粒所散射出的光线。如图的设计，第一反射面是做成凸的心脏形的，第二反射面是做成凹球形的，其目的是为了能得到完全的齐明，这也是暗场聚光镜在设计上的最主要条件，借以在没有象差情况下满足正弦条件，但也有把两个反射面都做成球面而仍能满足齐明条件的设计。

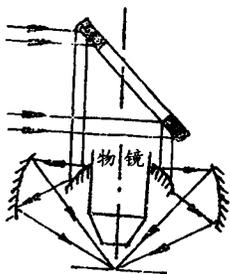


图 5 - 58

#### 4. 超显微聚光镜

它是利用光缝衍射来观察超显微质点（大小小于 1000A）的一种照明系统，专门用来观察各种介质内的色散性胶状质点，工作原理见图 5 - 59。由电弧光源发出的光线经聚光镜 C 聚焦于可变光缝 S，再由聚光镜的后组 h 把 S 的象成于聚光镜

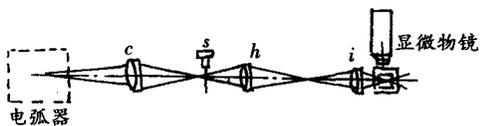


图 5 - 59 超显微聚光镜

前组 i 的恰当的工作距离上，这样在标本上所得的经过两次缩小了的 S 的映象。若所检验的质点是混合在液体里的，则常用一玻璃容器盛，观察物镜与标本用水液浸。适当地调节 i 和显微物镜就可看到出

现在暗视场里的超显微的质点。在照明系统中也可加入一起偏镜来作特殊光学目的的检验之用。

光缝衍射超显微照明系统的最大优点是在于可以检出大小比物镜分辨力还要小的质点。因代表象的光斑的大小是可以根据衍射理论计算出来，目前用这种装置所可以看到的质点大小为 40A，而可见光显微镜在最理想条件下所能达到的最高鉴别率也只有 1000A，因此再比它小的质点不论用上多大倍率的显微镜也无法将其分辨，但应用了与显微镜光轴成垂直的由超显微聚光镜所形成的照明系统，虽然也不能觉察出这种微小质点的形状和大小，但却可发现它们的存在和移动。在这样照明和聚光下，质点在暗的背景上表现为亮点，由于光线衍射，每个质点是衍射圆的中心。

## 第六章 光学性能及光学零件公差的确

### § 6.1 光学性能公差的确

光学系统的光学性能随不同性质的系统而异，这里主要介绍望远镜系统、瞄准镜系统、测距系统和照相物镜系统。

#### § 6.1.1 望远系统性能公差的一般要求

##### 1. 系统分辨力：

一般如 (6 - 1) 式所规定

$$\frac{140''}{D} < \alpha < \frac{60''}{\Gamma} \dots\dots\dots (6 - 1)$$

D——系统入瞳直径

α——系统分辨力（秒）

Γ——系统放大倍率

其中  $\frac{140''}{D}$  为略低于理论分辨力  $\frac{120''}{D}$  的数

值,  $\frac{60''}{\Gamma}$  为系统最低分辨力, 实际中我们以 (6-2) 式确定  $\alpha$  值。

$$\alpha = K \cdot \frac{140''}{D} \dots\dots\dots (6-2)$$

一般时取  $K = 1.3$ , 当产品复杂时  $K \uparrow$ , 当产品简单时  $K \downarrow$ 。

### 2. 放大倍率误差

放大倍率误差主要取决于系统中物镜系统和目镜系统的焦距误差。

$$\Gamma = \frac{f'_{物}}{f'_{目}} \dots\dots\dots (6-3)$$

上式进行微分后得:

$$\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{df'_{物}}{f'_{物}} - \frac{df'_{目}}{f'_{目}} \dots\dots\dots (6-4)$$

若取极大极小法, 则有:

$$\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{df'_{物}}{f'_{物}} + \frac{df'_{目}}{f'_{目}} \dots\dots\dots (6-5)$$

若取平方根法, 则有:

$$\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \sqrt{\left(\frac{df'_{物}}{f'_{物}}\right)^2 + \left(\frac{df'_{目}}{f'_{目}}\right)^2} \dots\dots\dots (6-6)$$

望远镜物镜系统和目镜系统的制造误差达到 1% 是没有困难的, 因此放大倍率误差能达到 2%。放大倍率的大小不必严格控制, 一般放大倍率误差按 5% 控制。伽里略式望远镜的放大倍率误差按 8% 要求。

### 3. 视场角误差

$$\tan\omega = \frac{a}{f'_{物}} \dots\dots\dots (6-7)$$

$a$ ——视场光栏半径

$f'_{物}$ ——物镜焦距

对上式进行微分后得:

$$\frac{d\tan\omega}{\tan\omega} = \frac{da}{a} - \frac{df'_{物}}{f'_{物}} \dots\dots\dots (6-8)$$

因为  $da$  远小于  $df'_{物}$ , 所以有:

$$\frac{d\tan\omega}{\tan\omega} = \frac{df'_{物}}{f'_{物}} \dots\dots\dots (6-9)$$

从上式可知, 视场相对误差由物镜的相对误差所决定, 能达到 1%, 但是考虑到严格要求视场的大小是没有必要的, 一般按 5% 来要求。

### 4. 出瞳直径误差

$$d' = \frac{D}{\Gamma} \dots\dots\dots (6-10)$$

$D$ ——系统入瞳直径

$d'$ ——系统出瞳直径

$\Gamma$ ——系统的放大倍率

将上式微分后得:

$$\frac{dd'}{d'} = \frac{dD}{D} - \frac{d\Gamma}{\Gamma} \dots\dots\dots (6-11)$$

因为  $dD$  远小于  $d\Gamma$ , 所以有:

$$\frac{dd'}{d'} = \frac{d\Gamma}{\Gamma} \dots\dots\dots (6-12)$$

从上式可知, 出瞳直径误差主要决定于放大倍率误差。前面提到的放大倍率误差按 5% 要求。那末, 出瞳直径也应按 5% 要求, 但考虑到棱镜和棱镜框的限制等因素, 出瞳直径往往有切边现象, 因而出瞳直径一般要求有 10% 的误差, 对密封型军用望远镜按 5% 的要求。

### 5. 出瞳距离误差

出瞳距离是指自光学系统最后一面顶点到出瞳平面与光轴交点的距离, 这是指近轴光线的交点距离。在很多情况下, 在图纸上标注眼点距离。眼点是指望远系统视场边缘光束的主光线在目镜象方与光轴的交点。按经验一般限制其最小值, 误差不大于 10% 即可, 最大值不限。

### 6. 放大率差

双筒望远镜不仅有放大率误差的问题，还有左右只放大率之差的问题，左右只放大倍率不相同，其倍率差大到一定程度时，左右眼的象不能重合，引起观察困难。两镜筒实际放大率之差用 $\Delta\Gamma$ 表示，从系统的放大率关系式有：

$$\Gamma = \frac{\tan\omega'}{\tan\omega} \dots\dots\dots (6-13)$$

$\omega'$ ——系统的目方视场半角

$\omega$ ——系统的物方视场半角

将上式微分后得：

$$\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{1}{\tan\omega} \cdot \frac{d\omega'}{\cos^2\omega'} - \frac{1}{\tan\omega} \cdot \frac{d\omega}{\cos^2\omega} \dots\dots\dots (6-14)$$

在物方  $d\omega = 0$ ，所以可得到：

$$\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{1}{\tan\omega'} \cdot \frac{d\omega'}{\cos^2\omega'} \dots\dots\dots (6-15)$$

$$\therefore \frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = \frac{2d\omega'}{\sin^2\omega'} \dots\dots\dots (6-15)$$

由于存在放大率差 $\Delta\Gamma$ ，两镜筒出射主光线夹角 $d\omega'$ 由经验知，一般人眼合象的极限为 $30'$ ，

$$2d\omega' = 60' \dots\dots\dots (6-16)$$

代入(6-15)得：

$$\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = \frac{2d\omega'}{60\sin^2\omega'} \dots\dots\dots (6-17)$$

假定目方视场角半角 $\omega' = 30^\circ$ ，则从(6-17)式可得 $\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = 6.7\%$ ，假定目方视场半角 $\omega' = 60^\circ$ ，则得 $\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = 2.2\%$ 。从计算可知，目方视场角愈大，对放大倍率的左右只倍率差愈严，一般情况下，我们要求放大率差2%，密封型军用望远镜为1.5%，伽里略式望远镜为3%。对它们的放大率差要求是能够满足人眼的合象要

求的。

### § 6.1.2 观察瞄准系统性能公差的要求

#### 1. 焦距误差（物镜系统）

物镜系统是指分划面前的光学系统。设对应于视场为 $\omega$ 的物点在焦平面上的象高为 $y'$ 。

$$y' = f'_{物} \tan\omega \dots\dots\dots (6-18)$$

当物镜系统焦距存在误差 $\Delta f'_{物}$ 时，则对应于象高误差为：

$$\Delta y' = \Delta f'_{物} \tan\omega \dots\dots\dots (6-19)$$

这时在分划板上所引起的读数误差为：

$$\Delta \tan\omega = \frac{\Delta y'}{f'_{物}} = \frac{\tan\omega}{f'_{物}} \Delta f'_{物} \dots\dots\dots (6-20)$$

移项也即：

$$\frac{\Delta f'_{物}}{f'_{物}} = \frac{\Delta \tan\omega}{\tan\omega} \dots\dots\dots (6-21)$$

其中 $\frac{\Delta \tan\omega}{\tan\omega}$ 表示系统所容许的读数误差。

#### 2. 视差

以分划板面与实际象面不重合的量表征视差，可用视度差（ $\Delta SD$ ）表示，也可用物方（或象方）所对应的最大瞄准角误差 $\varepsilon$ （ $\varepsilon'$ ）表示。用视度差表示的视差通常叫线视差，用最大瞄准角误差表示的叫角视差。

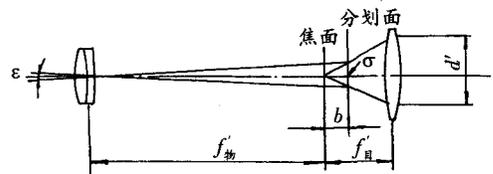


图 6-1

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{f'_{物} + b} \doteq \frac{\sigma}{f'_{物}} \dots\dots\dots (6-22)$$

$$\text{或 } \varepsilon = 3438 \frac{d'b}{f'_{物} f'_{目}} \text{ (分)} \dots\dots\dots (6-23)$$

式中 $b$ 即为视度差 $\Delta SD$ 所对应的轴向距

离关系式为:

$$b = \frac{f_{目}^2}{1000} \Delta SD \quad \dots\dots (6-24)$$

也可直接表示  $\epsilon$  和  $\Delta SD$  之间的关系:

$$\Delta SD = \frac{0.29\Gamma}{d'} \epsilon \quad (\text{视度}) \quad \dots\dots (6-25)$$

对于一般望远系统的角视差  $\epsilon$  的允许值通常为:

$$\epsilon \leq \frac{1'}{\Gamma} \sim \frac{3'}{\Gamma} \quad \dots\dots (6-26)$$

对于要求较高的望远系统, 则要求其线视差  $b$  不大于物镜系统的焦深, 即

$$2b \leq \frac{4\lambda}{n'} \left(\frac{f_{物}}{D}\right)^2 \quad \dots\dots (6-27)$$

$D$ ——入瞳直径

换算成视度差的形式, 则有:

$$\Delta SD \leq \frac{1}{d'^2} \quad (\text{视度}) \quad \dots\dots (6-28)$$

$d'$ ——出瞳直径

### § 6.1.3 测距系统性能公差的要求

除一般的望远系统和观察瞄准系统的一些性能公差外, 还应满足特殊要求。

#### 1. 基线误差

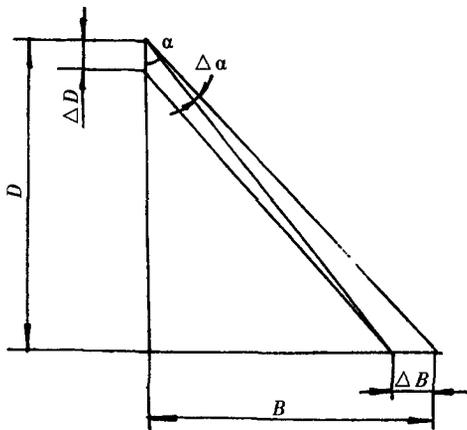


图 6-2

$$D = \frac{B}{\alpha} \quad \dots\dots (6-28)$$

$D$ ——目标距离

$B$ ——基线

$\alpha$ ——目标的视差角

经过微分并取极大极小得:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta \alpha}{\alpha} \quad \dots\dots (6-29)$$

从上式可知, 测距误差是由基线误差和视差角误差共同影响。

测距误差一般用理论误差为单位, 一个理论误差  $\Delta D$  为:

$$\Delta D = \frac{D^2}{B\Gamma 20600} \quad \dots\dots (6-30)$$

设所分配的基线误差为  $N$  个理论误差, 则基线误差应为:

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{ND}{B\Gamma 20600} \quad \dots\dots (6-31)$$

如果用基线的绝对误差值方式, 且用毫米为单位表示  $\Delta B$  (基线  $B$  和目标距离  $D$  用米为单位), 则关系式为:

$$\Delta B = \frac{ND}{20.6\Gamma} \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots (6-32)$$

#### 2. 测标物镜的焦距误差

影响测距精度除基线外, 就是视差角误差, 产生视差角误差的因素很多, 如系统的光轴失调、左右观察系统的倍率差、标志刻制误差以及测标物镜焦距误差等。

先讨论测标物镜焦距和标志刻制误差。

$$\alpha = \frac{l}{f_{标}} \quad \dots\dots (6-33)$$

$l$ ——标志的坐标位置

$f_{标}$ ——测标物镜焦距

$\alpha$ ——对应距离  $D$  的视差角

由微分关系得:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta f'_{\text{标}}}{f'_{\text{标}}} \dots\dots\dots (6-34)$$

或用均方根表达:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f'_{\text{标}}}{f'_{\text{标}}}\right)^2} \dots\dots\dots (6-35)$$

视差角误差由标志刻制和测标物镜焦距误差组成。设分配给测标物镜焦距误差为  $N_{\text{标}}$  个理论误差, 则有:

$$\frac{\Delta f'_{\text{标}}}{f'_{\text{标}}} = \frac{N_{\text{标}} f'_{\text{标}}}{l \Gamma 20600} \dots\dots\dots (6-36)$$

若略去标志刻制误差, 它对视差角的绝对误差影响为:

$$\Delta\alpha = \frac{l}{f'^2_{\text{标}}} \cdot \Delta f'_{\text{标}} \dots\dots\dots (6-37)$$

### 3. 倍率差

虽然目标和标志在物空间的象在进入观察系统前已经汇合, 但在实际使用时, 为了不致使标志遮栏目标, 往往让目标和标志要错开一个角度  $\Delta\omega$ , 在这种情况下, 观察系统的倍率差也会影响系统视差角误差, 象空间的视差角误差  $\Delta\alpha'$  为:

$$\Delta\alpha' = \Delta\Gamma \Delta\omega$$

因此, 对应于物空间的视差角误差  $\Delta\alpha$  为:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} \Delta\omega \times 20600 \text{ (秒)} \dots\dots\dots (6-38)$$

$\Delta\omega$  的单位是弧度, 它等于:

$$\Delta\omega = \frac{\Delta X}{f'_{\text{物}}} \dots\dots\dots (6-39)$$

$\Delta X$ ——标志的尺寸大小

$f'_{\text{物}}$ ——观察系统物镜焦距

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} \cdot \frac{\Delta X}{f'_{\text{物}}} \cdot 20600$$

写成相对误差形式:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} \cdot \frac{\Delta X}{l} \dots\dots\dots (6-40)$$

$l$ ——标志的坐标位置

### ξ 6.1.4 照相物镜系统性能公差的要求

照相物镜的性能公差均在 GB9917 - 88 国标中作了明确的规定, 在这里只是简单地提一下。

#### 1. 焦距

实测焦距与名义焦距之差, 与名义焦距之比的绝对值, 不大于 5%, 以符号  $F$  表示。

$$F = \left| \frac{f_1 - f_2}{f_2} \right| \times 100\% \leq 5\% \dots\dots (6-41)$$

式中  $f_1$  为实测焦距,  $f_2$  为名义焦距。

#### 2. 相对孔径

(1) 相对孔径的公差用  $F$  数的公差表示, 实际测量的  $F$  数应符合国标中所列的数值, 但可以允许在下式 (6-42) 计算的范围内变动。国标中所列的光圈数系列, 我们列出常用的第 1 系列于表 6-1 中。

$$F = 2^{\frac{1}{2n}(m+\delta)} \dots\dots\dots (6-42)$$

式中的  $\delta$  为  $F$  数的极限偏差, 用曝光指数  $E_v$  表示, 最大孔径除外, 对不同入射光瞳直径的  $\delta$  极限偏差由表 6-2 规定。

表 6-1 光圈数系列

<i>m</i>	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>n</i> = 1	0.5000	0.7071	1.000	1.414	2.000	2.828	4.000	5.657	8.000	11.31	16.00	22.63	32.00

表 6-2 δ 极限偏差

级别	入射光瞳直径 Φ/mm	δ 极限偏差/Ev
I	>3	±0.33
	≤1 ~ ≤3	±0.4
	<1	±0.5
II	>7	±0.33
	≤3 ~ ≤7	±0.4
	<3	±0.5
III	全部	±1

(2) 当相对孔径由小 *F* 数向大 *F* 数方向调整时 (或反之), 对相对孔径精度要求 II 级的镜头, 允许在从大 *F* 数向小 *F* 数方向调整时 (或反之), 原有的实际 δ 偏差变动 ±0.3Ev, 对相对孔径精度要求为 I 级的镜头和 III 级镜头, 不论调整方向如何均按表 6-2 规定。

(3) 对于最大孔径时的相对孔径偏差用  $\frac{\Delta F}{F}$  表示, 其数值不大于 ±5%。

3. 象面照度均匀度

象面照度均匀度 *K<sub>v</sub>* 按表 6-3 规定: 是在照相镜头最大光圈, 物距刻度调整到 50 倍焦距, 象高为 0.9*y* (*y* 等于二分之一对角线长度) 时的数值。

表 6-3 象面照度均匀度

名义象幅 (mm × mm)	<i>K<sub>v</sub></i>	
24 × 36	<i>f</i> ≤ 38	≥ 20%
	<i>f</i> > 38	≥ 30%
60 × 60	≥ 30%	

4. 照相分辨力

(1) 画幅 24mm × 36mm 的定焦镜头按表 6-4 规定。

表 6-4 24mm × 36mm 定焦镜头分辨力 (线对/mm)

镜头类别	视场	中心	边缘
	级别		
标准镜头 38 < <i>f</i> ≤ 61	J0	40	25
	J I	36	22
	J II	32	16
	J III	28	12
广角镜头 <i>f</i> < 38	J0	40	20
	J I	36	18
	J II	32	14
	J III	28	11
远摄镜头 61 < <i>f</i> ≤ 135	J0	36	25
	J I	32	22
	J II	28	16
	J III	25	12
远摄镜头 <i>f</i> > 135	J0	32	25
	J I	28	22
	J II	25	16
	J III	22	12

(2) 画幅 24mm × 36mm 的变焦镜头按表 6-5 规定。

表 6-5 24mm × 36mm 变焦  
镜头分辨率 (线对/mm)

镜头类别	视 场		中心	边缘
	级 别			
标准段 $36 < f \leq 61$	J0		36	22
	J I		32	20
	J II		28	14
	J III		25	10
广角段 $f < 38$	J0		36	18
	J I		32	16
	J II		28	12
	J III		25	9
远摄段 $f > 61$	J0		32	22
	J I		28	20
	J II		25	14
	J III		22	10

(3) 画幅 60mm × 60mm 的定焦镜头按表 6-6 规定。

表 6-6 60mm × 60mm 定焦  
镜头分辨率 (线对/mm)

镜头类别	视 场		中心	边缘
	级 别			
$f \geq 75$	J I		28	14
	J II		20	9
	J III		16	6
$75 < f < 94.5$	J I		28	16
	J II		20	10
	J III		16	7
$f \geq 95$	J I		25	16
	J II		20	10
	J III		14	7

(4) 各表中心视场是指 0.25y 之内的分辨率, 边缘视场是指 0.5y 和 0.707y 两视场带的分辨率,  $f$  均以镜头的名义焦距为准。

(5) 中心视场外任一视场带及任一方向上的最低分辨率应不低于 5 线对/

mm。

(6) 表 6-4、表 6-5、表 6-6 是在最小  $F$  数时的数值。

### 5. 杂光系数

照相镜头的杂光系数的允许值按表 6-7 规定, 表 6-7 的数值是在照相镜头轴上  $F8$  的条件下的允许值, 对程序快门相机, 则为最小  $F$  数时的允许值。

表 6-7 杂光系数允许值

镜头类别	级 别	
	I	II
定焦镜头	$\leq 3\%$	$\leq 5\%$
变焦镜头	$\leq 5\%$	

### 6. 色贡献指数

照相镜头色贡献指数的标准值及偏差, 按表 6-8 给出。

表 6-8 色贡献指数的标准值及偏差

色别	标准值	偏差
蓝	0	+3 -4
绿	5	0 -2
红	4	+1 -2

7. 照相镜头在画幅对角线方向上的相对畸变允许值按表 6-9 规定。

表 6-9 相对畸变允许值

相对畸变	镜头类别	
	定焦镜头	变焦镜头
$q$	$\leq 3\%$	$\leq 5\%$

表中数值指 0.866y 和 0.5y 两视场带的测定数值。

### 8. 调制传递系数 $M(r)$

某一空间频率的调制传递系数, 就是该空间频率时的调制传递函数值。画幅 24mm × 36mm 照相分辨率为 I 级的照相镜头的调制传递系数  $M(r)$  按表 6-10。

表 6-10 调制传递系数  $M(r)$

$M(r)$	特征频率 视场	10 线对/mm		30 线对/mm	
		轴上	0.707 $y$	轴上	0.707 $y$
孔径		0.6	0.3	0.3	0.15
F8		0.75	0.4	0.4	0.2

9. 变焦距镜头的象面位移

变焦距镜头的象面位移依据镜头焦深的百分数值进行分级。按表 6-11 规定。

焦深按下式计算：

$$\text{焦深} = \pm F_{\min} \cdot d \dots\dots\dots (6-43)$$

式中  $d$  为弥散圆直径，其数值由镜头所规定的照相分辨力等级中的中心分辨力的倒数确定。按表 6-5 中的值计算； $F_{\min}$  为照相镜头的最小光圈数。对同一个变焦镜头有两个  $F_{\min}$  数时，应分别计算焦深。

表 6-11 象面位移

级别	I	II
象面位移	(焦深 × 50%)	(焦深 × 100%)

(未完待续)



## 日研制出超高速对焦液体镜头

东京大学教授石川正俊领导的研究小组研制出了可超高速对焦的照相机镜头。因为镜头由液体制成，且可以高速变形，所以能在 1/500s 的短时间里对焦。

这种镜头有助于跟踪拍摄超高速移动的被拍对象，以及用显微镜观察活动的微生物。研究小组计划与生产厂家进行合作，争取一两年后投入使用。

研究小组将于 9 月 2 日在爱知县春日井市举行的应用物理学会会议上发表这一研究成果。

这种镜头呈圆形，直径 3mm。在实验中，以 1/500s 的速度，不抖动地将焦点对准了相距十几毫米的被拍对象。相机采用这种镜头，即使距离超过 0.1m，也可以高速对焦。迄今为止，移动镜头要对焦需要几秒钟。

这种镜头利用水与油的界面特点，通过改变界面的形状来变换焦点。镜头的下层装有水，水位上下变化，镜头随之变形并对焦。使用超高速振动的压电元件，对水面施加压力，致使界面发生变化。

液体的表面与普通镜头一样是平面，但析像度毫不逊色。加上附件在内，镜头大小如同一张名片。研究人员今后将研制更小的镜头，用于小型相机。

如果在显微镜中使用这种镜头，可以不抖动地观察活动的微生物。

摘自《参考消息》